

Research on the Advanced Preparation Technology of Quartz Boat in the Semiconductor Manufacturing Process

Feng Lan Tao Zheng Jianbin Li Shouhe Feng Donghua Xu

Zhejiang Hongxin New Material Co., Ltd., Quzhou, Zhejiang, 324000, China

Abstract

This study systematically discusses the advanced preparation process and optimization of quartz boat in the semiconductor manufacturing process. We first the high purity, low thermal expansion coefficient, transparency and chemical stability of quartz materials. In terms of equipment selection, CO₂ laser, UV laser and fiber laser are used, which are suitable for efficient cutting, high-precision micromachining and surface treatment respectively. In the actual production, the assembly mold with independent intellectual property rights is applied to solve the problem of easy displacement of graphite block and gasket, improve the accuracy and efficiency of lap, and reduce the rate of defective products. The application of these innovative technologies has improved the performance and production efficiency of quartz boats, providing strong support for the development of semiconductor manufacturing and other industries.

Keywords

semiconductor; quartz boat; preparation process

半导体制程中石英舟的先进制备工艺研究

兰锋 郑涛 李建斌 冯寿合 许冬华

浙江泓芯新材料股份有限公司, 中国·浙江 衢州 324000

摘要

本研究针对半导体制造过程中石英舟的先进制备工艺进行了系统性的探讨和优化。首先研究了石英材料的高纯度、低热膨胀系数、透明性和化学稳定性等特性。在设备选择方面, 采用了CO₂激光器、紫外激光器和光纤激光器, 分别适用于高效切割、高精度微细加工和表面处理。在实际生产中, 应用了自主知识产权的组立模具, 解决了石墨块和垫片易移位的问题, 提高了搭接精度和效率, 降低了次品率。这些创新技术的应用提高了石英舟的性能和生产效率, 为半导体制造等行业的发展提供了有力支持。

关键词

半导体; 石英舟; 制备工艺

1 引言

随着半导体行业的迅猛发展, 对高精度和高性能制造工具的需求日益增长。作为半导体制造过程中不可或缺的关键部件, 石英舟在化学气相沉积(CVD)、扩散、氧化等工艺中发挥着至关重要的作用^[1]。高质量的石英舟不仅能够提高半导体器件的性能, 还能显著降低生产成本。

2 半导体用石英舟规模化生产中的指标规范

2.1 尺寸偏差规范

根据使用规范将半导体用石英舟的尺寸偏差进行三级划分, 分别为A、B、C, A级为有特殊要求的, C级为无特殊要求的, B级为其他未标注尺寸偏差范围的。具体数值可见表1~表3。

表1 长度、宽度、高度偏差(单位: mm)

尺寸	≥1	≥3	≥6	≥18	≥30	≥80	≥120	≥250	≥400	≥1000	≥2000
级别	<3	<6	<18	<30	<80	<120	<250	<400	<1000	<2000	≥2000
A	±0.1	±0.1	±0.2	±0.2	±0.3	±0.3	±0.3	±0.5	±0.5	±1.0	±1.5
B	±0.1	±0.1	±0.2	±0.4	±0.5	±0.7	±1.0	±1.2	±1.5	±2.0	±3.0
C	±0.5	±0.5	±0.8	±1.0	±1.2	±1.5	±2.0	±3.0	±3.0	±4.5	±6.0

【作者简介】兰锋(1983-), 男, 畲族, 中国浙江衢州人, 本科, 从事半导体制备研究。

表 2 厚度尺寸偏差 (单位: mm)

尺寸	≥0.5	≥1	≥1.5	≥2	≥2.5	≥3	≥6	≥12
级别	<1	<1.5	<2	<2.5	<3	<6	<12	≥12
A	±0.06	±0.06	±0.1	±0.2	±0.3	±0.4	±0.5	±0.8
B	±0.08	±0.1	±0.2	±0.3	±0.5	±0.5	±0.8	±1.2

表 3 直径尺寸偏差 (单位: mm)

开槽部位	槽宽		槽间距	总槽间距	槽深	开槽棒磨平后尺寸
	两棒舟	四棒舟				
A	+0.05	+0.05	±0.05	±0.2	±(0.05-0.1)	±0.1
B	+0.1	+0.1	±0.1	±0.5	±(0.1-0.2)	±0.2

2.2 石英棒开槽加工公差

槽部具体的尺寸偏差在表 4 中。

根据 A、B 两个级别标准明确了槽部尺寸偏差规范, 可以确保石英舟在不同应用场景下的性能和可靠性。

2.3 形位偏差

形位偏差是指零件在形状和位置上的偏差, 用于评估零件的几何精度。在半导体用石英舟的制造中, 形位偏差的控制尤为重要, 以确保其在高温和精密工艺中的稳定性和可靠性。

2.4 外观质量

石英舟的气泡、破皮气泡、气线、破皮气线的尺寸范围和允许数量如下: 宽度不超过 1.0mm、长度不超过 5mm 的气泡或气线允许存在 2 个 /m; 宽度不超过 0.5mm、长度不超过 3mm 的气泡或气线允许存在 3 个 /m; 宽度不超过 0.3mm、长度不超过 1mm 的气泡或气线允许存在 5 个 /m。通气气线和破皮气泡、破皮气线不允许存在。焊口处气泡聚力表面 1mm 深以上时, 允许小于 0.5mm, 每个焊接处数量不多于 3 个, 气泡大小在皮厚方向尺寸不得超过壁厚的 1/3, 直径或宽度小于 0.1mm 的气泡或气线数量不计。色斑的颜色和直径尺寸要求如下: 白色色斑直径不超过 2.0mm

的允许存在 1 个 /m, 直径不超过 1.0mm 的允许存在 3 个 /m, 直径不超过 0.5mm 的允许存在 4 个 /m; 黑色色斑直径不超过 0.5mm 的允许存在 2 个 /m, 直径不超过 0.3mm 的允许存在 4 个 /m; 其他颜色的色斑不允许存在。划伤的宽度不大于 0.3mm, 深度不大于 0.1mm, 长度不大于 10mm, 经抛光处理的划伤是允许的。片状析晶不允许, 点状析晶按白点计。允许不明显的云雾存在。炸裂、晶纹、生料颗粒、桔皮、暗疤等缺陷不允许存在。透明颗粒每 10000mm² 最多允许 20 个。

2.5 杂质元素含量及热应力

在半导体用石英舟的制造中, 控制杂质元素的含量和热应力是确保其性能和可靠性的关键因素。表 5 是不同等级石英岩的杂质元素含量要求, 以及对热应力的管理说明。

3 石英舟的相关制备工艺

3.1 高精度机械冷加工工艺应用

高精度机械冷加工工艺在石英舟制备中发挥关键作用, 通过精密的切削、研磨和抛光技术, 确保石英舟的尺寸精度和表面光洁度。该工艺能够实现微米级甚至亚微米级的加工精度, 有效去除表面缺陷, 提高石英舟的机械强度和耐高温性能, 满足半导体制造对高精度和高可靠性的要求。

表 4 槽部尺寸偏差 (单位: mm)

尺寸	<φ6	≥φ6	≥φ10	≥φ15	≥φ30	≥φ50	≥φ100	≥φ150
级别	<φ6	<φ10	<φ15	<φ30	<φ50	<φ100	<φ150	≥φ150
A	±0.1	±0.2	±0.2	±0.2	±0.3	±0.3	±0.5	±1.0
B	±0.1	±0.2	±0.2	±0.3	±0.5	±1.0	±1.5	±2.0
C	±0.3	±0.5	±0.8	±1.0	±1.5	±2.0	±3.0	±5.0

表 5 杂质元素含量 (最大值) (单位: μg/g)

等级	杂质元素含量												
	Al	Na	K	Li	Mg	Cu	Mn	Ca	Fe	Ti	B	Co	Ni
S级	20	2.5	2	1.5	1	0.5	0.24	2	0.8	1.5	0.8	0.8	0.8
H级	16	0.3	1	1	1	0.5	0.24	1.5	0.8	1	0.2	0.5	0.5

注: 等级划分参考 JC/T 2372—2016 集成电路用石英舟, S 级为标准级, H 级为高纯级。

3.1.1 与石英材料机械冷加工相关的材料特性

石英材料因其较好的机械性能而在众多领域中占据优势，但它耐脆性较差，是一种难以加工的材料^[2]。例如，与淬火钢相比，石英材料的抗拉强度、弹性模量和泊松比明显较低，然而其抗压强度却异常突出，这一特点清晰地揭示了石英材料的脆硬性质。石英材料的强度随温度变化而变化。当温度逐渐升高时，石英材料的强度不仅没有减弱，反而有所增强，尤其是在接近退火温度时达到峰值。这表明石英材料能够在高温条件下保持甚至提高其机械性能。随着温度的升高，石英玻璃的剪切模量、杨氏模量、阻尼系数以及泊松比都会相应增加，这表明材料在高温下能够更好地抵抗形变并吸收能量。然而，硬度却会随着温度的升高而降低，这表明在高温加工过程中，虽然材料的整体强度和弹性有所提升，但其表面的耐磨性和抗划伤能力可能会下降。

3.1.2 石英制品冷加工设备选择

在半导体领域，石英制品的表面质量、洁净度等要求极为严格，因此对加工设备中的刀具也有很高的要求。由于石英材料硬度较高，通常选择具备高硬度、高耐磨性和高导热性的金刚石刀具进行加工。金刚石刀具主要有以下几种类型：开槽用刀具、数控铣刀具、数控车刀具。在选择金刚石刀具时，粒度是一个关键参数。粒度大小直接影响加工表面的质量和加工效率。一般来说，当产品没有特殊要求时，可以选择粒度在120~170目的刀具，这能够满足大多数常规加工的需求。如果产品对表面质量有更高要求，例如需要达到镜面效果或极低的表面粗糙度，则应选择粒度为200目或320目的刀具进行精磨。这些细粒度的刀具能够提供更加细腻的表面处理，确保产品的表面质量达到高标准。金刚石刀具的高耐磨性和高导热性也使其在长时间、高强度的加工过程中保持稳定性能。

3.2 激光加工技术工艺应用

3.2.1 石英材料的特性及其对激光加工的影响

石英材料的高纯度对激光加工效果有直接影响。高纯度的石英材料可以减少杂质对激光吸收和散射的影响，提高加工精度和表面质量。杂质的存在可能导致局部过热，产生微裂纹和气泡，进而影响石英舟的性能。此外，石英材料具有较低的热膨胀系数，这意味着在高温下尺寸变化较小，有利于保持加工精度。低热膨胀系数减少了热应力的产生，提高了石英舟的机械强度和耐热性。石英材料在可见光和近红外区域具有良好的透明性，这使得激光能够穿透材料，实现内部加工。透明性有助于激光能量的有效传递，提高加工效率和质量。

3.2.2 激光加工设备选择

在石英材料的激光加工中，选择合适的激光器类型对于实现高精度和高效率的加工至关重要。CO₂激光器是最常用的激光器之一，适用于石英材料的切割和钻孔。CO₂激光器具有较高的功率和较长的波长（10.6μm），能够有效地穿透石英材料，实现高效切割。这种激光器的高功率和长波

长特性使其在处理较厚的石英材料时表现出色，能够快速、准确地完成切割和钻孔任务。紫外激光器则是精密加工的理想选择，适用于微细切割和刻蚀。紫外激光器的波长通常为355nm，较短的波长使其能够实现高精度加工。紫外激光的能量集中在非常小的区域内，可以精确控制加工深度和宽度，减少热影响区，避免材料的热损伤^[3]。这种激光器特别适合需要高精度和高表面质量的石英舟制备，如微细结构的刻蚀和精细切割。光纤激光器则适用于表面处理和标记，具有较高的能量密度和良好的聚焦性能。

4 石英制品组立技术研究

在现有技术中，通常使用石墨块和垫片来搭接槽棒和试片，以确保它们的位置符合产品要求。搭接后，槽棒和试片的接触位置会进行假接。随后，对假接形成的石英制品进行初步的产品尺寸测量，如果符合要求，则进入下一步的焊接工序；如果不符合要求，则需要重新调整石墨块和垫片，再次假接，直至测量结果符合要求。在实际生产中，由于石英制品的种类繁多，单独活动的石墨块和垫片在假接过程中容易发生移位，导致假接的石英制品次品率较高。此外，当需要批量生产某款产品时，这种搭接方式效率低下，耗费大量的人力和物力资源。

5 石英制品抛光设备及工艺

石英制品的抛光设备通常包括抛光机、研磨轮和抛光液。该研究中采用了一种自主设计的数控抛光机床，该机床具有火焰均匀、稳定性高和精度高等优点。通过数控系统，可以精确控制抛光过程中的各项参数，如转速、压力和时间。根据不同石英制品的特点，可以选择相应的抛光工艺，包括粗磨、细磨和精抛等阶段。这种高效的抛光设备不仅显著提高了生产效率，还有效降低了生产成本，确保石英制品表面光滑、无划痕，满足高精度要求。

6 结论

在本研究中，我们针对半导体制造过程中石英舟的先进制备工艺进行了系统性的探讨和优化。通过合理选择和组合激光器，我们实现了石英舟的高精度和高效率加工。在实际生产中，选择了自主知识产权的组立模具。模具的设计和制造旨在解决现有技术中石墨块和垫片易移位的问题，提高石英制品搭接的精度和效率。通过使用专用模具，可以有效减少假接过程中石墨块和垫片的移位，降低次品率，并显著提升批量生产的效率，节约人力和物力资源。

参考文献

- [1] 刘思.新型萘衍生物半导体材料的设计合成与性能研究[D].天津:天津大学,2021.
- [2] 左政,侯洁娜,王珺,等.石英部件在半导体领域应用及市场概览[J].中国集成电路,2023,32(6):30-35.
- [3] 刘峰.基于半导体工艺的高基频小尺寸石英晶片关键技术及产业化[P].广东省,广东惠伦晶体科技股份有限公司,2021-12-22.